綠蘆筍脫水之研究（第二報）

Dehydration of Green Asparagus II.

王豐洲　　　　李榮輝

by

F. J. Wang and **Y. H. Lee**

摘　要

在五種脫水乾燥方法中以冷凍乾燥方法所需加工成本最貴，浮動層次之，直立托盤式更次之，隧道式者最便宜，但配合品質因素綜合觀之，高級脫水品應以冷凍乾燥法爲之，中級品以浮動式爲宜，經濟產品則以隧道式加工之。

綠蘆筍脫水加工時，冷凍乾燥者需有熱水殺菁處理，其他乾燥法以沒殺菁處理者品質較優。

用 13.8 公斤的生原料加工，應可得 1 公斤的產品。

依等溫吸濕儲藏實驗，脫水綠蘆筍以水份含量在 5.63-7.81 %時儲藏安定性最佳。

前　言

本文的目的在討論"綠蘆筍脫水之研究"第一報的研究結果並補充等溫吸濕儲藏實驗一個。在第一報中已有討論者在此不再重複。有關蘆筍採收後之處理與保鮮等問題於"食品工業"月刊第 5 卷第 6 期的蘆筍專輯中已有詳細說明。白蘆筍的乾燥脫水與其次級品之利用，將於"蘆筍次級品利用"研究報告中討論。

不同乾燥方法所需加工成本之比較

以本所現有 pilot scale 的設備來估計工廠實際操作費用當有所偏差，故此成本的估計目的在使讀者有一個概念。

把直徑與長度約 1 公分之新鮮綠蘆筍從水份含量 93 %左右，用五種乾燥方法脫水至含 10 %的乾燥品。成本的計算基於下列幾個假設：

1. 空氣的溫度 25°C，相對濕度 85 %。
2. 假設電費每度 0.4 元。
3. 重油或天然瓦斯→蒸氣→熱能的效率爲 70 %。

　重油的 heat value 爲 140,000 Btu／gal，價錢每加侖 8 元。

5. 天然瓦斯的 heat value 爲 25,000 Btu／gal，價錢 1.10 元／M³。

A. 隧道乾燥法（Tunnel Drying）

熱風溫度前 3 小時自 80°C 每隔半小時降 5°C 一直到 55°C，其後 3.5 小時維持 55°C，風速爲 700ft／min。

乾燥箱內有 7 個盤子，每個盤子的面積爲 4.92 ft²，因所要求盤載重爲 1 lb／ft²，故每批或每台車可乾燥 $7 \times \frac{4.92}{1} = 34.44$ lbs。

本文原載于食品工業發展研究所研究報告第五十四號

此 Tunnel dryer 所用馬達用電爲 1.5 kw／hr。

則電費方面花 $1.5 \times 6 \times 0.4 = 3.60$ 元／批。

在用蒸汽部份，每批所耗用能量爲 1,172,500 Btu／批。

假設 boiler 所用燃料爲 heary oil，其價格爲每加侖 8 元。

故用蒸汽，每批蘆筍花費 $\frac{1,172,500 \times 8}{0.7 \times 140,000} = 95.80$ 元／批。

故用此 tunnel dryer，每乾燥 1 lb 新鮮蘆筍需花費

$$\frac{3.60 + 95.80}{34.44} = 2.89 \text{ 元／磅}$$

假設此 tunnel 相當於一台車，又每實際 tunnel 有 6 台車

則每磅花用爲 $\frac{2.89}{6} = 0.48$ 元／磅

B. 直立托盤式熱風乾燥法（Tray Drying）

使用條件爲 80°C，2hrs，然後 55°C，40min 風速爲 200 ft／min 時，最靠近 heater 的那一盤水分可降至 10%。今假設把此 tray dryer 箱內的架子上均擺滿了盤子，即共有 10 盤時，平均每批乾燥時間爲 5 小時 20 分，則因每盤面積 4.98 ft²，載重是 1 lb／ft²，故每批可容新鮮蘆筍

$10 \times \frac{4.98}{1} = 49.8$ lbs。

此 tray dryer 所用馬達每小時用電 1.5 kw，故

5 小時 20 分內用電 $1.5 \times 5.33 \times 0.4 = 3.20$ 元／批

蒸汽方面，消耗能量 459,400 Btu／批

boiler 燒 heary oil 時，則花費 $\frac{459,400 \times 8}{0.7 \times 140,000} = 37.40$ 元

故乾燥 1 磅新鮮蘆筍花費 $\frac{3.20 + 37.40}{49.80} = 0.82$ 元／磅

C. 浮動層乾燥法（Fluidized Bed Drying）

用本所自製小型實驗用乾燥機，其乾燥完全由熱風溫度相對濕度與風速來決定，其支持盤固定非振動式者。

其乾燥條件爲　100°C　10min

　　85°C　10min

　　75°C　15min

　　65°C　25min

　風速　600 ft／min

　盤載重 2 lb／ft²（第一報中雖用 1 lb／ft²，但經實驗用 2 lbs 時乾燥物水份含量相等，故改用 2 lbs）

在電費方面，此乾燥機所用之小馬達每小時用電 0.8kw。

故一小時內電費 $0.8 \times 1 \times 0.4 = 0.32$ 元／批。

此小型乾燥機通風之截面積有 0.32 ft²。

每批乾燥原料 0.64 lbs，用煤氣供給熱能。

則乾燥每批蘆筍所需能量爲 17,090 Btu／批（理論値）

$$\frac{17,090 \times 1.10}{0.7 \times 25,000} = 1.07 \text{ 元／批}$$

故乾燥 1 磅原料花費 $\frac{0.32 + 1.07}{0.64} = 2.17$ 元／磅

本所中間工廠型較乾燥機脫水分三階段，再則其乾燥的mechanism除用熱風溫度和風速控制乾燥速率外，輸送板的振動與輸送方式均需機械能來加速脫水率。依本所研究報告第51號蘆之脫水研究，可預知用小型實驗用乾燥機與中間工廠型乾燥機來脫水其費用大抵相同。

用三階段中間工廠型乾燥機時，需另找乾燥條件。依一試驗，發現用100°C，10 min，然後80°C，25 min，最後用65°C，25 min時也可得到與上述乾燥條件所得產品品質與水份含量相似之脫水品。

D. 眞空乾燥法 (Vacuum Drying)

乾燥條件：hot plate temp是55°C，12小時。

電費方面，乾燥機內所使用Vacuum Pump每小時用2.2kw。

water pump是0.55kw，故12小時所需電費爲$(2.2+0.55) \times 12 \times 0.4 = 13.20$元／批在此眞空乾燥機中，由boiler送來的蒸汽加熱於冷水而使機內的plates保有55°C溫度。依實驗與換算得知保持heating plate溫度在55°C (vacuum dryer中沒放東西)，每小時需10,000 Btu，12小時共需能量

$$10,000 \times 12 = 120,000 \text{ Btu／批}$$

vacuum dryer內每盤的面積爲3.76 ft^2，共有10盤，又每盤盤載爲1 lb／ft^2，故每批所需原料爲 $\frac{3.76 \times 10}{1} = 37.6$ lbs

水份的蒸發熱每磅爲970 Btu。

故每批原料脫水時除需120,000 Btu的基本蒸化能外又需有$970 \times 37.6 = 36,500$ Btu

故一共需$120,000 + 36,500 = 156,500$ Btu

∴需重油費 $\frac{156,500 \times 8}{0.7 \times 140,000} = 12.78$ 元

∴脫水每磅新鮮蘆筍需 $\frac{13.20 + 12.78}{37.6} = 0.69$ 元／磅

E. 冷凍乾燥法 (Freeze Drying)

把蘆筍切塊放入冷凍室 (−40°C) 1小時後，放入冷凍乾燥機脫水。

使熱板溫度120°C，3小時後，溫度降至60°C，3小時。最後用55°C再乾燥3小時。

在電費方面：

冷凍乾燥機內vacuum pump與refrigeration motor所用電壓爲220volt，電流總和8. amp (實際量出者)，但因爲3相，

故每小時用 $220 \times 8.5 \times \sqrt{3} = 3.23$ kw

heating power 方面，也是220 V，但量出電流爲8 amp，因是三相

故每小時用 $220 \times 8 \times \sqrt{3} = 3.22$kw

假設乾燥9小時中，此electric heater實際被使用時間只有一半，則power input是

$3.22 \times 9 \times \frac{1}{2} = 13.7$ kw

故total power input爲 $3.23 \times (3+3+3) + 13.70 = 42.77$ kw-hr

故電費成本 $42.77 \times 0.4 = 17.11$元／批

在冷凍方面：

本所冷凍室 (−40°C) 在正常操作下爲散光熱所需付出的Power，在冷凍部份爲 $220 \text{ V} \times 10 \text{ amp} \times \sqrt{3} = 3.81$ kw

在風扇部份爲 $220 \text{ V} \times 4 \text{ amp} = 0.88$ kw

故食品部份不算時，爲維持−40°C所需之電費爲

(3.81kw + 0.88kw) × 1 hr × 0.4元／kw − hr = 1.88元／批

冷凍乾燥機內可同時放入4盤，每盤面積2.05 ft^2，因盤載量爲1 lb／ft^2，故一批之最大容量爲 $\frac{2.05}{1} \times 4 = 8.2$ lbs

把此8.2 lbs的綠蘆筍 (水份含量93%) 從25°C降到−40°C，

依計算，每磅需被奪去熱能200 Btu，故總共需

$200 \times 8.2 = 1640$ Btu

即對於此8.2 lbs的蘆筍用1噸冷凍機就可。

冷凍1小時需電力 3Hp × 0.75 kw／Hp × 1 hr = 2.25度

即電費 $2.25 \times 0.4 = 0.9$元

∴用冷凍乾燥法乾燥每磅新鮮蘆筍需花費

$\frac{17.11 + 1.88 + 0.9}{8.2} = 2.42$元／lb

以上五種乾燥方式的冷凍乾燥與浮動層乾燥法費用最高，tray drying次之，眞空乾燥與隧道乾燥者最便宜。冷凍乾燥所得樣品品質雖最佳，但從冷凍到乾燥前後需花10小時，而且成本也最貴，除有特別用途外，一般蘆筍脫水將不採用冷凍乾燥法。浮動層乾燥法的最大特點就是快速乾燥，對於如薑片和大蒜等能在30分鐘內脫水者很合用，但對於綠蘆筍或白蘆筍而言，可能因組織上的關係，內部水分不易除去，所以需時1小時才能從93%脫水至10%，因需時太長也就增加了工本費。本研究中蘆筍的切片角度爲90度，如採用30度至45度時因切面積增加而減少乾燥時間，再則如能把切片厚度減少至不至被吹出chamber爲止也能縮短乾燥時間。總之，如乾燥時間長至1小時，用浮動層乾燥法不合算。tray drying的drying mechanism與浮動式者相似，熱風因through flow的關係乾燥速率也很快，最靠近heater的一盤只需2小時40分可把水分降到10%，乾燥的工本費也低，對於蘆筍之脫水很適合。唯一問題在於機器的設計與費用。眞空乾燥雖花費不多，但需時太長沒有實用價值。隧道乾燥法工本費最低，且乾燥時間也不太長，所以權衡工本費，乾燥時間以及可能生產能量，隧道式與直立托盤式最適合蘆筍之脫水。因台灣目前還沒有直立托盤式乾燥機，所以綠蘆筍的脫水目前還是以隧道式爲宜。

不同乾燥方法所得產品品質之比較

以不殺菁熱風隧道式乾燥所得脫水綠蘆筍 (水分含量2.31%) 經磨成粉末後，依一般方法放入各種飽和鹽類溶液之容器內加以密閉，保溫在25°C經五星期後測定水分含量並觀察其表面變化情形。

五個星期等溫吸濕儲藏實驗，所得蘆筍吸濕與變化情形如表一：

表一　等溫吸濕儲藏後綠蘆筍粉水份含量

Table I. Moisture Content of Green Asparagus after Isothermal Storage under Various Relative Humidity

Relative Humidity (%)	11	22	33	52	75	86	97
Moisture Content (%)	2.29	3.89	5.31	10.35	20.85	22.63	44.58

蘆筍粉儲在相對濕度11％，22％與33％者顏色與外觀跟新鮮脫水品沒有倆樣，相對濕度52％者蘆筍粉因吸濕有結塊的現象。相對濕度75％者除筍粉結塊外，顏色由綠色略變成黃紅色，與相對濕度達86％和97％時除筍粉結塊變成黃紅色外，並有Mold 生長其內。由此可見脫水綠蘆筍的水份含量不可超過10％。

依Rockland（1957與1969），一般脫水食品水分含量低於單分子層水分含量時，固體表面的active site 會和空氣中之氧氣作用而發生脂質的自氧化，但脫水食品在等溫吸濕曲線上△M／△RH變化最小值時之水分含量以上時，酵素性及非酵素性之褐變易於進行，所以乾燥食品之最適當水份含量應在單分子層水分含量及△M／△RH最小值時的相對水份含量之間。

單分子層水分含量可利用Salwin（1959）的簡化B.E.Tequation（Brunauer, et, al., 1938）與表1的資料求出。

綠蘆筍粉的等溫吸濕及儲藏所需適當水分含量之探討

在冷凍乾燥，真空乾燥與熱風乾燥（以隧道式爲代表）三種乾燥方式中，不管是否經過殺菁，在醣類，Ascorbic acid，葉綠素，Hunter color 的量度上以及復水性，其保留原來品質的能力上來說，以冷凍乾燥者最佳，真空乾燥者次之，熱風乾燥者最差。在隧道，直立托盤式與浮動層三種熱風乾燥方法中，以浮動層乾燥方法處理所得之脫水綠蘆筍，其維他命C與葉綠素之保留量最高，品質最好。就殺菁處理方面來說，除用冷凍乾燥法需殺菁外，使用其他脫水法可免殺菁處理。

綜合加工方式與品質加以權衡時，如想得高級產品而成本在其次時冷凍乾燥法最適宜。中級產品似乎以浮動層較適合，因其品質不惡，加工成本也沒有冷凍乾燥者高昂，在加速加工生產時此法最適當。至於一般經濟性的脫水綠蘆筍，隧道式乾燥法應該採用。

$$\frac{R}{a(100-R)} = I + SR \qquad a_1 = \frac{1}{I + 100S}$$

R＝相對濕度

a＝100gm乾燥所含水分克數　　a_1＝單分子層水分含量

S＝斜率　　I＝截矩

由表1的資料可得圖1與圖2，利用圖1中的斜率與截矩或利用計算方式求得單分子層水分含量爲5.65％。由圖2的等溫吸濕綫求得△M／△RH最小值時的水分含量爲7.83％，而該點的相對濕度爲47％。故在25°C時綠蘆筍粉儲藏的最適當水分含量界於5.65～7.83％。綠蘆筍所含脂肪量甚低（0.2％ on wet basis），受脂肪氧化的損害不大，所以在成品規格中規定脫水蘆筍水份含量低於8％甚爲恰當。

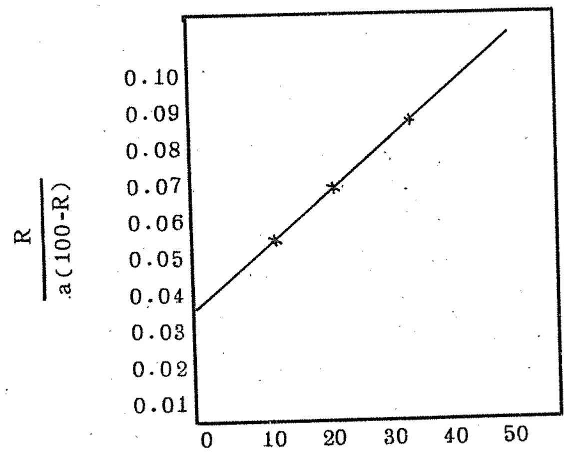


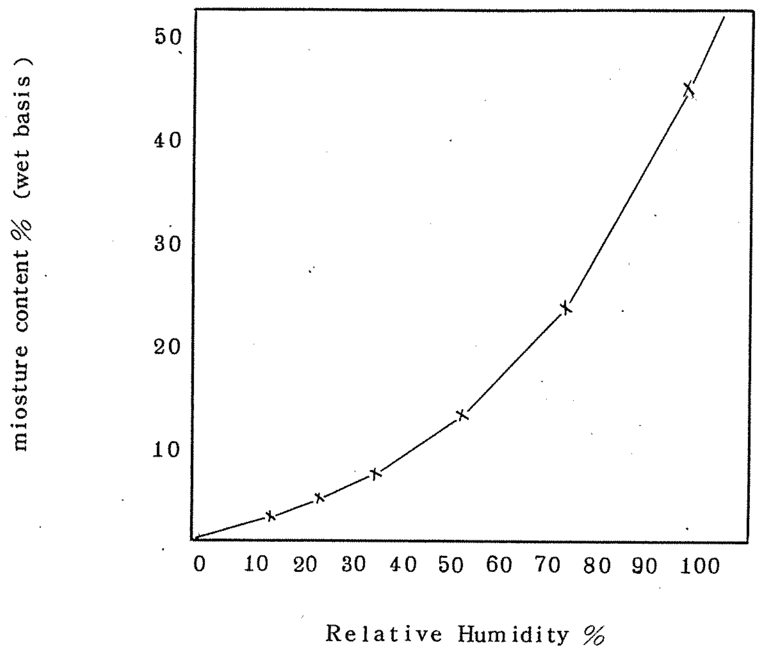
圖1　依照B.E.T.方程式所得綠蘆筍粉在25°C的等溫吸濕圖

Figure 1. Modified B.E.T. moisture absorption isotherm for Green Asparagus Powder at 25°C

Relative Humidity ％

圖2　綠蘆筍粉在25°C的等溫吸濕平衡曲綫圖

Figure 2. Moisture absorption isotherm for dehydrated Green Asparagus powder at 25°C



乾燥比與收成率

蔬菜業者在計算脫水成本時，一定要算乾燥比與收成率，以決定該蔬菜有否脫水價值。

$$乾燥比 = \frac{To + 1}{Tr + 1}$$

To＝原料水分比（g水／g乾物）

Tr＝產品水分比（g水／g乾物）

綠蘆筍水分含量93％，脫水產品假設爲8％，則依公式算得其乾燥比13.1公斤脫水後可得1公斤之成品。假設在整修原料時有5％的損失率，則$\frac{13.1}{0.95}$＝13.8公斤脫水可得1公斤之產品。

成品規格問題

也許脫水蘆筍還沒有普及的關係，世界各國的政府當局還沒有立下正式規格，一般所謂成品規格往往是廠商間自己建立者。探訪台灣一些脫水產品工廠與貿易商行得如下一些結論：

1. 成品規格需符合第1報中所述。
2. 成品不含SO_2，氯氣與化學添加物。
3. 一般對總細菌數的要求是每克50萬以下，但有些國家的要求較嚴，例如瑞士政府要求18萬以下。

結　論

1. 綠蘆筍之脫水乾燥，除非用冷凍乾燥需有熱水殺菁處理外，其他乾燥法以不殺菁者（包括蒸汽殺菁和

熱水殺菁）品質較優。

2. 浮動層乾燥法的脫水速率最快，但還沒快到所預期者，除非在機器設計與切片上能有突破的改良，否則在實際用途上不能全面代替隧道式。
3. 高級脫水綠蘆筍應以冷凍乾燥法加工，中級產品以浮動層乾燥法爲之，而一般經濟產品以隧道式較經濟實惠。
4. 綠蘆筍脫水產品以 25° C ，相對濕度 40 %下水份含量 5.63 − 7.83 %者儲藏安定性最佳。
5. 約 13.8 公斤的原料可得 1 公斤的脫水品。

參考文獻

1. Brunaure, S., Emmett, P.H. and Teller, E. 1938. Absorption of gases in multimolecular layers. J. Am. Chem. Soc., 60, 309.
2. Rockland, L.B. 1957. A new treatment of hygroscopic equilibrium: Application to walnuts (Juglans Regia) and other foods. Food Research 22, 604.
3. Rockland, L.B. 1969. Water activity and storage stability. Food Tech. 23, 1241.
4. Salwin, H. 1959. Defining minimum moisture Content for dehydrated foods. Food Tech. 13, 594.

Summary

An advanced discussion of the first report of "Dehydration of Green Asparagus" was presented. The results of the moisture absorption isotherm study on the unblanched tunnel dried asparagus were also presented in this article.

Freeze drying appeared to be the most desirable drying method for fancy grade dehydrated green asparagus preparation. High grade products could be obtained through fluidized bed drying method, while the economic grade dehydrated products should use tunnel drying which is prevailing in Taiwan today.

When freeze drying was chosen for drying, the treatment with water blanching was necessary to acquire good products. Both water and stream blanching would deteriorate products which were dehydrated through vacuum or hot air drying.

13.8 kilogram fresh raw green asparagus could produce one kilogram of dehydrated product.

From the moisture absorption isotherm study, the safety moisture range for dehydrated asparagus was found at 5.63-7.83 %